



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:  
**Robert Aigner et al.**

Serial No.: 10/808,949

Filing Date: **March 25, 2004**

Title: **Piezoelectric Component and Method  
for Producing It**

§  
§  
§  
§  
§  
§  
§  
§

Group Art Unit: 2834

Examiner:

Attny. Docket No. 068758.0180

Client Ref.: INF-N10204-US

Mail Stop Missing Parts  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

CERTIFICATE OF MAILING VIA EXPRESS MAIL

PURSUANT TO 37 C.F.R. § 1.10, I HEREBY CERTIFY THAT I HAVE INFORMATION AND A REASONABLE BASIS FOR BELIEF THAT THIS CORRESPONDENCE WILL BE DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE, ON THE DATE BELOW, AND IS ADDRESSED TO:

MAIL STOP MISSING PARTS  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. BOX 1450  
ALEXANDRIA, VA 22313-1450

*Sam Dennessy*

EXPRESS MAIL LABEL: EV449864970US  
DATE OF MAILING: JUNE 14, 2004

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We enclose herewith a certified copy of German patent application 101 47 075.4 which is the priority document for the above-referenced patent application.

Respectfully submitted,

BAKER BOTTS L.L.P. (023640)

Date: June 14, 2004

By: *A. Grubert*

Andreas H. Grubert  
(Limited recognition 37 C.F.R. §10.9)

One Shell Plaza  
910 Louisiana Street  
Houston, Texas 77002-4995  
Telephone: 713.229.1964  
Facsimile: 713.229.7764  
AGENT FOR APPLICANTS



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 47 075.4

**Anmeldetag:** 25. September 2001

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

**Bezeichnung:** Piezoelektrisches Bauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

**IPC:** H 03 H 3/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely of the President of the German Patent and Trade Mark Office.



## Beschreibung

## Piezoelektrisches Bauelement und Verfahren zu dessen Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft piezoelektrische Bauelemente, die zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter umfassen, sowie ein Verfahren zur Herstellung derartiger piezoelektrischer Bauelemente.

Mit der immer weiter zunehmenden Verbreitung der mobilen Kommunikation und Datenübertragung besteht auch ein immer größer werdendes Interesse an der Entwicklung von Filtern und Resonatoren für Schmalbandanwendungen mit hoher Sperrbanddämpfung. Filter für GPS-Geräte (Global Positioning System), die eine 10 MHz Bandbreite bei 1,57 GHz aufweisen, oder Resonatoren für Frequenznormale sind Beispiele für derartige Anwendungen.

20

Eine hohe Sperrbanddämpfung wird üblicherweise durch die Verwendung von mehrstufigen Filtern erreicht, in denen beispielsweise frequenzverschobene Serien- und Shunt-Resonatoren in einer sogenannten „Leiterstruktur“ verschaltet sind. Mit diesen mehrstufigen Filtern kann zwar eine nahezu optimale Bandbreite des Durchlassbereichs erreicht werden, für eine hohe Sperrbanddämpfung (Fernab-Selektion) ist jedoch eine sehr große Stufenanzahl notwendig, da die typische Sperrbanddämpfung pro Stufe in diesen Filtern bei nur ca. 6,8 dB liegt. Deshalb sind derzeit mehrstufige Filter, die eine Leiterstruktur aufweisen und eine Sperrbanddämpfung von mehr als 50 dB besitzen, praktisch nicht herstellbar.

30

Eine höhere Sperrbanddämpfung pro Filterstufe kann mit sogenannten „balanced“-Filtern erreicht werden, die in der Regel eine Brückenschaltung frequenzverschobener Resonatoren aufweisen. Die Verwendung dieser Filtertypen unterliegt

35

jedoch einigen wesentlichen Einschränkungen. So müssen in „balanced“-Filtern das Eingangs- und Ausgangssignal differentiell (balanced) vorliegen. Systeme, in denen solche Filtertypen zum Einsatz kommen, erfordern deshalb entweder  
5 spezielle Antennen und Vorverstärker oder aber besondere Bauelemente oder Baugruppen, welche die üblicherweise vorliegenden, sogenannten „single-ended“ Signale in sogenannte „balanced“ Signale umwandeln.

10 Die derzeit am Markt befindlichen Filter und Resonatoren für Schmalbandanwendungen sind überwiegend keramische Filter oder sogenannte „Surface-Acoustic-Wave-Filter“. Diese Filtertypen lassen sich allerdings nur schwer miniaturisieren und ihre Herstellung ist in der Regel aufwendig und damit  
15 kostenintensiv. Dies macht sie zur Verwendung in Niedrigpreis-Produkten ungeeignet. Darüber hinaus lassen sich diese Filterstrukturen in der Regel nicht in die üblichen Prozesse der Halbleiterfertigung integrieren.

20 Neben Surface-Acoustic-Wave-Filtern wird auch zunehmend versucht, sogenannte „Bulk-Acoustic-Wave“ Filter als miniaturisierte Filter zu verwenden und diese mittels Dünnschichttechniken auf Substraten herzustellen. Eine Untergruppe dieser Filtertypen sind die sogenannten „Stacked-Crystal-Filter“ (SCF). Ein Stacked-Crystal-Filter umfaßt  
25 typischerweise zwei piezoelektrische Schichten und drei Elektroden. Die erste piezoelektrische Schicht ist zwischen einer ersten, unteren Elektrode und einer zweiten, mittleren Elektrode angeordnet, eine zweite piezoelektrische Schicht  
30 zwischen der zweiten, mittleren Elektrode und einer oberen, dritten Elektrode. Die mittlere Elektrode ist dabei in der Regel geerdet. Um zu verhindern, dass sich die in den piezoelektrischen Schichten erzeugten akustischen Schwingungen in dem Substrat ausbreiten, können die Stacked-Crystal-Filter beispielsweise durch akustische Spiegel von  
35 dem restlichen Substrat abgeschirmt werden.

Das Prinzip der Stacked-Crystal-Filter ist seit ungefähr 40 Jahren bekannt, konnte sich aber im MHz-Frequenzbereich großtechnisch nicht durchsetzen, da die Herstellung von entsprechenden Quarzplättchen mit Mittenelektroden nicht beherrscht war. Mit dem Fortschritt der Miniaturisierungstechnik, insbesondere dem Fortschritt in der Dünnschichttechnik für Piezoschichten, gewinnen die Stacked-Crystal-Filter wieder zunehmend an Attraktivität. Ein entsprechender Filter für GPS-Anwendungen ist z.B. in „Stacked Crystal Filters Implemented with Thin Films, K.M. Lakin, G.R. Kline, R.S. Ketcham, J.T. Martin, K.T. McCarron, 43rd Annual Symposium on Frequency Control (1989), Seite 536 - 543“ beschrieben. Weitere Beispiele für die Verwendung von miniaturisierten Stacked-Crystal-Filtern sind beispielsweise in den Patentschriften US 5,910,756 und US 5,872,493 beschrieben. In letzterer wird weiterhin beschrieben, dass ein Stacked-Crystal-Filter über einen oberen und unteren akustischen Spiegel von dem Substrat akustisch abgeschirmt werden kann.

Allen dort beschriebenen Stacked-Crystal-Filtern ist jedoch gemeinsam, dass ihre Herstellung aufgrund ihres komplexen Aufbaus und der damit verbundenen hohen Anzahl abscheidender und zu strukturierender Schichten einen hohen Prozessaufwand erfordern, der die Herstellungskosten der Filter erhöht.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, piezoelektrische Bauelemente bereitzustellen, welche die oben beschriebenen Nachteile deutlich verringern bzw. ganz vermeiden. Insbesondere ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, piezoelektrische Bauelemente bereitzustellen, die mit einem relativ geringen Prozessaufwand hergestellt werden können.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements gemäß dem unabhängigen

Anspruch 1 sowie dem piezoelektrischen Bauelement gemäß Anspruch 10 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der  
5 Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements enthaltend zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter bereitgestellt, das die folgenden  
10 Schritte umfasst:

- a) ein Substrat wird bereitgestellt;
- b) auf dem Substrat wird aus einer auf dem Substrat  
15 aufgetragenen ersten elektrisch leitfähigen Schicht zumindest eine untere Elektrode erzeugt;
- c) auf dem Substrat wird zumindest im Bereich der unteren Elektrode ein Schichtstapel aufgebracht, der, beginnend  
20 mit der untersten Schicht, eine erste piezoelektrische Schicht, eine zweite elektrisch leitfähige Schicht, eine zweite piezoelektrische Schicht und eine dritte elektrisch leitfähige Schicht umfasst;
- d) lediglich die dritte elektrisch leitfähige Schicht und ggf. die zweite piezoelektrische Schicht werden strukturiert, so dass zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter erzeugt werden;
- e) die dritte elektrisch leitfähige Schicht wird  
30 kontaktiert.

Die Reihenfolge der Verfahrensschritte d) und e) ist dabei nicht festgelegt. Die Kontaktierung der dritten  
35 elektrisch leitfähigen Schicht kann auch vor der Strukturierung der dritten elektrisch leitfähigen Schicht und ggf. der zweiten piezoelektrischen Schicht erfolgen.

Durch das Abscheiden des Schichtstapels über der unteren Elektrode und der anschließenden Strukturierung der oberen elektrisch leitfähigen Schicht und ggf. zweiten piezoelektrischen Schicht kann auf einfache Weise, mit einem Minimum an Prozessschritten, ein piezoelektrisches Bauelement erzeugt werden, das zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter umfaßt, die über ihre untere und mittlere Elektrode direkt miteinander verbunden sind.

10 Dabei werden die mittleren Elektroden aus der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht und die oberen Elektroden aus der dritten elektrisch leitfähigen Schicht erzeugt. Die beiden piezoelektrischen Schichten werden aus piezoelektrischen Materialien hergestellt, die mittels Dünnschichttechniken aufgebracht werden können, und umfassen z.B. Zinkoxid (ZnO), Aluminiumnitrid (AlN) oder PZT (Bleizirkoniumtitanat). Es kann aber auch jedes andere geeignete piezoelektrische Material zu ihrer Herstellung verwendet werden.

15 Als Materialien für die elektrisch leitfähigen Schichten, aus denen die unteren, mittleren bzw. oberen Elektroden erzeugt werden, können z.B. Aluminium, Aluminium-enthaltende Legierungen, Wolfram, Molybdän oder Platin verwendet werden. Es kann aber auch jedes andere geeignete elektrisch leitfähige Material verwendet werden. Als Substratmaterial kann z.B. Silizium, GaAs oder Glas verwendet werden.

30 In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in der zweiten piezoelektrischen Schicht zumindest eine Öffnungen erzeugt und die zweite elektrisch leitfähige Schicht zusätzlich kontaktiert. Die erzeugte Öffnung oder erzeugten Öffnungen können als Kontaktlöcher dienen, durch die in dem Bauelement die mittleren Elektroden, die aus der zweiten elektrisch

leitenden Schicht erzeugt werden, mit einem vorgegebenen Potential verbunden werden können.

In einer weiteren bevorzugten Variante des  
5 erfindungsgemäßen Verfahrens wird vor dem Kontaktieren der dritten elektrisch leitfähigen Schicht die Resonanzfrequenz zumindest eines erzeugten Stacked-Crystal-Filters gemessen und gegebenenfalls in einem weiteren Schritt durch lokales  
10 Abätzen die Schichtdicke dritten elektrisch leitfähigen Schicht korrigiert. Durch diese Variante wird es möglich, die Prozessausbeute zu optimieren, da durch den Frequenzabgleich während des Strukturierungsverfahrens der sogenannte „Yield“ werden kann. Dabei ist sowohl möglich, die Resonanzfrequenz eines bereits strukturierten Stacked-Crystal-Filters durch  
15 Veränderung der Schichtdicke der dritten elektrisch leitfähigen Schicht zu korrigieren, als auch eine Testmessung an einem oder mehreren Stacked-Crystal-Filtern, die beispielsweise am Rande des Substrats strukturiert wurden, als Anhaltspunkt zur Veränderung der Schichtdicke der dritten  
20 elektrisch leitfähigen Schicht in bisher unstrukturierten Bereichen zu verwenden, in denen erst in einem oder mehreren folgenden Verfahrensschritten Stacked-Crystal-Filter erzeugt werden. Weiterhin ist es selbstverständlich möglich, anstelle des lokalen Abätzens die Schichtdicke der dritten elektrisch  
25 leitfähigen Schicht durch weiteres Abscheiden von Material zu verändern und somit zu korrigieren.

In einer weiteren bevorzugten Variante des  
erfindungsgemäßen Verfahrens wird vor dem Strukturieren der  
30 dritten elektrisch leitfähigen Schicht sowie ggf. der zweiten piezoelektrischen Schicht und/oder dem Kontaktieren der dritten elektrisch leitfähigen Schicht zumindest ein oberer akustischer Spiegel erzeugt. Dieser wird vorzugsweise aus  
einem auf der dritten elektrisch leitfähigen Schicht  
35 aufgebrachten Schichtstapel erzeugt, wobei der Schichtstapel zumindest aus einer Schicht aus einem elektrisch leitfähigen Metall besteht. Besonders bevorzugt ist es, dass alle



Schichten dieses Schichtstapels elektrisch leitfähig sind. Dadurch wird gewährleistet, dass der gesamte obere akustische Spiegel elektrisch leitfähig ist. Durch den oberen akustischen Spiegel werden die in dem Stacked-Crystal-Filter erzeugten akustischen Wellen reflektiert und so der SCF akustisch abgeschirmt. Die Erzeugung des oberen akustischen Spiegels aus einem elektrisch leitfähigen Metall ermöglicht eine besonders einfache Kontaktierung der oberen Elektroden, da diese über den oberen akustischen Spiegel erfolgen kann. Dies erleichtert darüber hinaus das sogenannte „packaging“ des Bauelements, das dadurch beispielsweise durch eine sogenannte „Flip-Chip-Montage“ ohne Zusatzmaßnahmen montiert werden kann.

In einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der obere akustische Spiegel aus einer Schichtfolge von elektrisch leitfähigen Metallen mit abwechselnd hoher oder niedriger akustischer Impedanz erzeugt. Geeignete Metalle mit hoher akustischer Impedanz sind beispielsweise Gold (Au), Molybdän (Mo) oder Wolfram (W). Als Metalle mit niedriger akustischer Impedanz sind beispielsweise Aluminium (Al) oder Titan (Ti) geeignet.

Um die Stacked-Crystal-Filter auch nach unten gegenüber dem Substrat abzuschirmen, wird in einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vor der Erzeugung der unteren Elektrode ein unterer akustischer Spiegel in dem Substrat erzeugt. Dieser kann aus einer Membran, aus einem Hohlraum oder aus einer Schichtfolge von Schichten aus Materialien mit abwechselnd hoher und niedriger akustischer Impedanz erzeugt werden. Geeignete Materialien mit niedriger akustischer Impedanz sind beispielsweise Silizium (Si), Polysilizium, Aluminium oder Polymere. Geeignete Materialien mit hoher akustischer Impedanz sind beispielsweise Gold (Au), Molybdän (Mo), Wolfram (W) oder Platin (Pt).

In einer weiteren bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die erste und zweite piezoelektrische Schicht in unterschiedlichen Schichtdicken abgeschieden. Dies ermöglicht es Bauelemente zu erzeugen, die  
5 als Impedanz-Transformatoren dienen können.

In einer weiteren besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die untere Elektrode, die erste piezoelektrische Schicht, die mittlere Elektrode, die  
10 zweite piezoelektrische Schicht und die obere Elektrode so abgeschieden, dass der aus ihnen gebildete Schichtstapel eine Schichtdicke aufweist, die etwa der halben Wellenlänge der mechanischen Schwingung der Stacked-Crystal-Filter entspricht. Dadurch können Stacked-Crystal-Filter erzeugt  
15 werden, die in der akustischen Grundmode betrieben werden können und so eine minimale Resonatorfläche bei gegebenem Impedanzniveau erreichen.

Die Erfindung umfasst weiterhin ein piezoelektrisches Bauelement umfassend zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter auf einem Substrat, wobei jeder Stacked-Crystal-Filter  
20 wenigstens eine untere Elektrode, eine über der unteren Elektrode angeordnete erste piezoelektrische Schicht, eine über der ersten piezoelektrischen Schicht angeordnete  
25 mittlere Elektrode, eine über der mittleren Elektrode angeordnete zweite piezoelektrische Schicht und eine über der zweiten piezoelektrischen Schicht angeordnete obere Elektrode umfasst. Das erfindungsgemäße piezoelektrische Bauelement ist  
dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei der jeweiligen  
30 unteren und der jeweiligen mittleren Elektroden der Stacked-Crystal-Filter direkt miteinander verbunden sind.

Das erfindungsgemäße piezoelektrische Bauelement weist einen besonders einfachen Aufbau auf, der mit einer geringen  
35 Anzahl an Prozessschritten und somit besonders kostengünstig hergestellt werden kann. Das erfindungsgemäße piezoelektrische Bauelement besitzt darüber hinaus den

Vorteil, dass Anwendungen, bei denen es auf eine hohe Sperrbanddämpfung ankommt, mit einer relativ geringen Anzahl an Filterstufen realisiert werden können. Dabei kann durch den Einsatz von zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter eine  
5 ausgezeichnete Fernabselektion auch für „single-ended“ Signale erzielt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die unteren Elektroden erdfrei,  
10 wobei es besonders bevorzugt ist, dass das elektrische Potential der unteren Elektroden nicht festgelegt ist.

Insbesondere ist es bevorzugt, dass die unteren Elektroden von zumindest zwei direkt miteinander verbundenen  
15 Stacked-Crystal-Filtern und ihre jeweilige direkte Verbindung aus einer Schicht gebildet sind. Weiterhin ist es besonders bevorzugt, auch die mittleren Elektroden und ihre jeweilige direkte Verbindung aus einer Schicht gebildet sind. Diese Struktur kann auf besonders einfache Weise hergestellt  
20 werden.

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements sind die oberen Elektroden der jeweiligen Stacked-Crystal-Filter als  
25 Signaleingang oder Signalausgang geschaltet.

Besonders bevorzugt ist es, dass oberhalb der oberen Elektroden wenigstens ein oberer akustischer Spiegel angeordnet ist, wobei es insbesondere bevorzugt ist, dass der  
30 obere akustische Spiegel aus zumindest einem elektrisch leitfähigen Material gebildet ist. Vorzugsweise ist der obere akustische Spiegel mit den oberen Elektroden direkt leitend verbunden. Für den oberen akustischen Spiegel kommen als geeignete Materialien und Strukturen die bereits im  
35 Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Materialien und Strukturen in Frage. Dadurch wird in dem erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelement

eine besonders einfache Kontaktierung der oberen Elektroden über den oberen akustischen Spiegel ermöglicht. Wie bereits für das erfindungsgemäße Verfahren beschrieben, erleichtert dies das „packaging“ des Bauelements.

5

In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfasst das piezoelektrische Bauelement wenigstens einen unteren akustischen Spiegel, um die Stacked-Crystal-Filter vom Substrat akustisch zu isolieren. Geeignete Spiegelmaterialien und -strukturen wurden bereits im  
10 Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläutert.

Weiterhin ist es besonders bevorzugt, dass das erfindungsgemäße piezoelektrische Bauelement zumindest ein  
15 Kontaktloch umfasst, das sich durch die obere Elektrode, bzw. durch die dritte elektrisch leitfähige Schicht aus der die obere Elektrode erzeugt wird, und durch die obere piezoelektrische Schicht erstreckt und über das die mittleren Elektroden mittels zumindest eines elektrisch leitfähigen  
20 Materials mit einem vorgegebenen Potential verbunden werden können. Besonders bevorzugt ist hierbei, dass zur Verbindung der mittleren Elektroden mit dem vorgegebenen Potential das gleiche elektrisch leitfähige Material verwendet wird wie zur Ausbildung des oberen akustischen Spiegels. Dieser Aufbau des Bauelements kann in besonders einfacher Weise mit einer  
25 minimalen Anzahl von Abscheidungs- und Strukturierungsschritten erfolgen, da hier der obere Spiegel und die Kontaktierung der mittleren Elektrode aus denselben Schichten erzeugt wird.

30

Wie bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und aus den dort erläuterten Gründen ist es für die piezoelektrischen Bauelemente der vorliegenden Erfindung besonders bevorzugt, dass in zumindest einem Stacked-Crystal-  
35 Filter des Bauelements die Schichtdicke des Schichtstapels aus unterer Elektrode, erster piezoelektrischer Schicht, mittlerer Elektrode, zweiter piezoelektrischer Schicht und

14  
oberer Elektrode etwa der halben Wellenlänge der mechanischen Schwingung des Stacked-Crystal-Filter entspricht.

Vorzugsweise ist in allen Stacked-Crystal-Filtern des Bauelements die Schichtdicke dieses Schichtstapels im wesentlichen gleich groß.

In weiteren bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung umfassen die piezoelektrischen Bauelemente zumindest einen zweistufigen single-ended Schmalbandfilter, zumindest einen Impedanz-Transformator, zumindest einen Leistungsteiler und/oder zumindest einen balanced-Filter.

Wenn das erfindungsgemäße piezoelektrische Bauelement einen Impedanz-Transformator umfasst, ist es besonders bevorzugt dass in dem ersten und zweiten Stacked-Crystal-Filter die erste piezoelektrische Schicht dünner ist als die zweite piezoelektrische Schicht. Besonders bevorzugt ist dabei, dass die unteren und die oberen Elektroden der SCF unterschiedliche Flächenform und/oder Flächeninhalt aufweisen. Dadurch wird eine besonders reflexionsarme Impedanztransformation zwischen Filtereingang und -ausgang möglich.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 7 näher dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1A bis 1E: die schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend einen zweistufigen single-ended Schmalbandfilter;

Fig. 3

die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend zwei in Serie geschaltete zweistufige single-ended Schmalbandfilter;

Fig. 4

die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend einen Impedanz-Transformator;

Fig. 5

die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend einen Leistungsteiler;

Fig. 6

die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend einen balanced-Filter mit „floating“-Mittелеlektrode; und

Fig. 7

die schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements umfassend einen balanced-Filter mit geerdeter Mittелеlektrode.

Fig. 1A bis 1E zeigen eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. In Fig. 1A ist ein Substrat 10 dargestellt, in dem mit herkömmlichen Strukturierungstechniken, z.B. Lithographie und Ätzung, ein Graben erzeugt wurde. In diesem Graben wird ein Schichtstapel abgeschieden, der die Schichten 52, 54, 56, 58 zur Erzeugung eines unteren akustischen Spiegels 50 und eine erste elektrisch leitfähige Schicht enthält. Aus der ersten elektrisch leitfähigen Schicht wird die untere Elektrode 14 erzeugt.

Nach der Abscheidung dieses Schichtstapels werden der untere akustische Spiegel 50 und die untere Elektrode 14 strukturiert. Dies kann durch ein CMP-Verfahren geschehen, wie es beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung DE 199 47 081 beschrieben ist.

Fig. 1B zeigt das Substrat 10 mit dem strukturierten unteren akustischen Spiegel 50 und der strukturierten unteren Elektrode 14. Auf das Substrat mit Spiegel 50 und unterer Elektrode 14 werden anschließend nacheinander die erste piezoelektrische Schicht 16, die zweite elektrisch leitfähige Schicht, die zweite piezoelektrische Schicht 20 und die dritte elektrisch leitfähige Schicht 22 abgeschieden. Dies ist in Fig. 1C dargestellt. Anschließend kann die obere elektrisch leitfähige Schicht 22 beispielsweise durch Lithographie und Ätzung strukturiert werden. Durch die Strukturierung lediglich dieser einen Schicht 22 können so auf einfache Weise die beiden Stacked-Crystal-Filter 30, 32 mit der beschriebenen Schichtfolge erzeugt werden.

In der bevorzugten, in den Fig. 1A bis 1E dargestellten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden jedoch zuerst in dem in Fig. 1D dargestellten Strukturierungsschritt Öffnungen in der dritten elektrisch leitfähigen Schicht 22 und der zweiten piezoelektrischen Schicht 20 erzeugt. Diese Öffnungen können als Kontaktlöcher dienen, über welche die mittlere Elektrode, die aus der zweiten elektrisch leitfähigen Schicht 18 gebildet wird, mit einem vorgegebenen Potential, vorzugsweise mit der Masse, verbunden werden kann.

Gleichzeitig ist es beispielsweise möglich, mit dieser Ätzung auf zumindest einem ausgesuchten Testbereich auf dem Substrat zumindest einen Stacked-Crystal-Filter zu erzeugen. An dieser Teststruktur kann dann in einem Zwischenschritt die Resonanzfrequenz des Test-SCF gemessen werden. Selbstverständlich können auch mehrere Test-SCF auf

verschiedenen Positionen des Substrats erzeugt werden. Anhand der gemessenen Resonanzfrequenz kann entschieden werden, ob eine Nachkorrektur der Schichtdicke der dritten elektrisch leitfähigen Schicht (22) erforderlich ist, um Stacked-Crystal-Filter zu erhalten, welche die gewünschte Resonanzfrequenz aufweisen. Die Schichtdicke der dritten elektrisch leitfähigen Schicht 22 kann gegebenenfalls durch lokales Abätzen korrigiert werden. Dieses lokale Abätzen kann beispielsweise durch lokales Ionenstrahlätzen erfolgen. Denkbar ist allerdings auch, dass die Schichtdicke der dritten elektrisch leitfähigen Schicht 22 durch weiteres Abscheiden von Material erhöht wird.

Anschließend wird, wie in Fig. 1E dargestellt, in weiteren Abscheidungsschritten ein Schichtstapel 40 aus verschiedenen elektrisch leitfähigen Metallen 42, 44, 46 abgeschieden. Die Schichtfolge ist dabei so gewählt, dass die Metalle alternierend eine hohe oder niedrige Impedanz aufweisen. Dadurch sind diese Metallschichten 42, 44, 46 zur Erzeugung eines oberen akustischen Spiegels 48 geeignet, der in einem anschließenden Strukturierungsschritt erzeugt wird (Fig. 1E). Zusätzlich kann mittels der Metallschichten 42, 44 und 46 sowohl eine leitende Verbindung zwischen der aus der zweiten leitfähigen Schicht 18 gebildeten Mittelelektrode und einem vorgegebenen Potential, z.B. Masse, als auch eine Verbindung zwischen den aus der dritten leitfähigen Schicht 22 gebildeten oberen Elektroden und dem Signaleingang bzw. Signalausgang hergestellt werden.

In dem in Fig. 1E dargestellten Strukturierungsschritt werden neben dem oberen akustischen Spiegel auch die Stacked-Crystal-Filter 30 und 32 durch eine oder mehrere entsprechende Ätzungen der Metallschichten 42, 44, und 46 sowie der dritten elektrisch leitfähigen Schicht 22 erzeugt.

Durch das vorhergehend beschriebene Verfahren kann auf besonders einfache Weise sowohl die Strukturierung als auch



Kontaktierung der Stacked-Crystal-Filter in dem Substrat erreicht werden.

In den Figuren 2 bis 7 sind verschiedene bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelemente schematisch dargestellt. In all diesen Figuren sind gleiche Bauteile mit gleichen Bezugszahlen benannt. In einigen Figuren sind diese Bauteile zur besseren Unterscheidbarkeit in den verschiedenen Komponenten der Bauelemente mit den Indizes (') oder (``) versehen. In einigen Figuren sind nur die wesentlichen übergeordneten Komponenten mit Bezugszeichen versehen, um die Übersichtlichkeit zu wahren. In diesen Figuren können aber den einzelnen Bauteilen der Bauelemente analoge Bezugszeichen zugeordnet werden, was sich aus dem Vergleich mit vorherigen Figuren unmittelbar ergibt. Die im folgenden beschriebenen Bauelemente lassen sich besonders einfach nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellen.

In Fig. 2 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Bauelements dargestellt, das einen zweistufigen single-ended Schmalbandfilter 350 umfasst.

Dieser ist aus zwei Stacked-Crystal-Filtern 300, 320 aufgebaut, die über ihre unteren Elektroden 114, 114' mittels einer gemeinsamen Verbindung 115 direkt miteinander verbunden sind. Jeder SCF 300, 320 umfaßt eine erste piezoelektrische Schicht 116, 116', eine mittlere Elektrode 118, 118', eine zweite piezoelektrische Schicht 200, 200' und eine obere Elektrode 220, 220'. Die mittleren Elektroden sind über eine gemeinsame Verbindung 119 direkt miteinander verbunden und sind geerdet. Die obere Elektrode 220 des einen SCF 300 ist mit dem Signaleingang verbunden, die obere Elektrode 220' des anderen SCF 320 ist mit dem Signalausgang verbunden.

Um die Filterselektivität weiter zu erhöhen, sind in dem in Figur. 3 dargestellten Filter zwei der in Figur 2 gezeigten „single-ended Schmalbandfilter“ 350, 352 zu einem vierstufigen Filter zusammengeschaltet.

5

Das in Figur 4 dargestellte piezoelektrisches Bauelement wirkt wie ein Impedanz-Transformator 360. In der dort gezeigten Ausführungsform wird die Impedanztransformation dadurch erreicht, dass die jeweils ersten piezoelektrischen Schichten 116, 116' in den SCF 300, 320 eine geringere Schichtdicke aufweisen, als die jeweiligen zweiten piezoelektrischen Schichten. Zusätzlich sind in dem einen SCF 300 des Impedanz-Transformators 360 die Flächen der unteren Elektrode 114 und der oberen Elektrode 220 unterschiedlich groß gestaltet, wodurch eine reflexionsarme Impedanztransformation zwischen Filtereingang und -ausgang erreicht wird.

10

15

In Fig. 5 ist ein piezoelektrisches Bauelement dargestellt, das als Leistungsteiler 370 dient. Die drei SCF 300, 320, 330 sind über ihre unteren Elektroden 114, 114', 114'' und ihre geerdeten mittleren Elektroden 118, 118', 118'' direkt miteinander verbunden. Die obere Elektrode 220 des einen SCF 300 ist mit dem Signaleingang verbunden, die oberen Elektroden der jeweils anderen SCF 320, 330 sind mit Signalausgängen verbunden.

20

25

Die in Fig. 6 und 7 dargestellten Filter sind balanced-Filter 390. Sie umfassen jeweils vier SCF 300, 320; 300', 320', die alle über ihre mittleren Elektroden 118 direkt miteinander verbunden sind. Jeweils zwei der SCF sind über ihre jeweiligen unteren Elektroden direkt miteinander verbunden, wodurch zwei SCF-Paare 370, 380 gebildet werden. Innerhalb eines SCF-Paares 370, 380 ist die obere Elektrode eines SCF 300, 300' mit dem Signaleingang, die des anderen SCF 320, 320' mit dem Signalausgang verbunden.

30

35

In dem in Figur 6 dargestellten Filtert sind die mittleren Elektroden erdfrei, d.h. „floating“, wohingegen die mittleren Elektroden in dem in Fig. 7 dargestellten Filter mit der Masse verbunden sind.

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Bauelements enthaltend zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter (30, 32), umfassend die folgenden Schritte:
- 10 a) ein Substrat (10) wird bereitgestellt;
- b) auf dem Substrat (10) wird aus einer auf dem Substrat (10) aufgetragenen ersten elektrisch leitfähigen Schicht zumindest eine untere Elektrode (14) erzeugt;
- 15 c) auf dem Substrat (10) wird zumindest im Bereich der unteren Elektrode (14) ein Schichtstapel aufgetragen, der, beginnend mit der untersten Schicht, eine erste piezoelektrische Schicht (16), eine zweite elektrisch leitfähige Schicht (18), eine zweite piezoelektrische
- 20 Schicht (20) und eine dritte elektrisch leitfähige Schicht (22) umfasst;
- d) lediglich die dritte elektrisch leitfähige Schicht (22) und ggf. die zweite piezoelektrische Schicht (20) werden strukturiert, so dass zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter (30, 32) erzeugt werden;
- e) die dritte elektrisch leitfähige Schicht (22) wird kontaktiert.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Öffnung (70) in der zweiten piezoelektrischen Schicht (20) erzeugt wird und zusätzlich
- 35 die zweite elektrisch leitfähige Schicht (18) kontaktiert wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
vor Schritt e.) die Resonanzfrequenz zumindest eines der  
erzeugten Stacked-Crystal-Filter (30, 32) gemessen und  
gegebenenfalls in einem weiteren Schritt durch lokales  
Abätzen die Schichtdicke der dritten elektrisch  
leitfähigen Schicht (22) korrigiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
vor Schritt d.) und/oder e.) zumindest ein oberer  
akustischer Spiegel (48) erzeugt wird, vorzugsweise aus  
einem auf der dritten elektrisch leitfähigen Schicht (22)  
aufgebrachten Schichtstapel (40), wobei der Schichtstapel  
(40) zumindest eine Schicht aus einem elektrisch  
leitfähigen Metall aufweist und vorzugsweise alle  
Schichten des Schichtstapels (40) elektrisch leitfähig  
sind.

5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der obere akustische Spiegel (48) eine Schichtfolge von  
elektrisch leitfähigen Metallen (42, 44, 46) umfasst, die  
abwechselnd eine hohe und niedrige akustischer Impedanz  
aufweisen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die erste (16) und zweite piezoelektrische Schicht (20)  
unterschiedliche Schichtdicken aufweisen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
vor Schritt b.) in dem Substrat (10) ein unterer  
akustischer Spiegel (50) erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
der untere akustische Spiegel (50) eine Schichtfolge (52,  
54, 56, 58) aus Materialien mit alternierend hoher und  
niedriger akustischer Impedanz umfaßt.

5

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s d i e  
untere Elektrode (14), die erste piezoelektrische Schicht  
(16), die mittlere Elektrode (18), die zweite  
10 piezoelektrische Schicht (20) und die oberer Elektrode  
(22) so abgeschieden werden, dass der aus diesen Schichten  
gebildete Schichtstapel (60) eine Schichtdicke aufweist,  
die etwa der halben Wellenlänge der mechanischen  
Schwingung der Stacked-Crystal-Filter (30, 32) entspricht.

15

10. Piezoelektrisches Bauelement (350, 354, 360, 370, 390)  
umfassend zumindest zwei Stacked-Crystal-Filter (300, 320)  
auf einem Substrat, wobei jeder Stacked-Crystal-Filter  
(300, 320) wenigstens eine untere Elektrode (114, 114'),  
20 eine über der unteren Elektrode angeordnete erste  
piezoelektrische Schicht (116, 116'), eine über der ersten  
piezoelektrischen Schicht angeordnete mittlere Elektrode  
(118, 118'), eine über der mittleren Elektrode angeordnete  
zweite piezoelektrische Schicht (200, 200') und eine über  
25 der zweiten piezoelektrischen Schicht angeordnete obere  
Elektrode (220, 220') umfasst,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
zumindest zwei der jeweiligen unteren und der jeweiligen  
mittleren Elektroden (114, 114', 118, 118') der Stacked-  
30 Crystal-Filter (300, 320) direkt miteinander verbunden  
sind.

30

11. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
35 die unteren Elektroden (114, 114') erdfrei sind.

12. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 10 oder 11,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
das elektrische Potential der unteren Elektroden (114,  
114') nicht festgelegt ist.

5 13. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 12,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die unteren Elektroden (114, 114') von zumindest zwei  
10 direkt miteinander verbundenen Stacked-Crystal-Filtern  
(300, 320) und ihre jeweilige direkte Verbindung (115) aus  
einer Schicht gebildet sind.

14. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 13,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die mittleren Elektroden (118, 118') von zumindest zwei  
direkt miteinander verbundenen Stacked-Crystal-Filtern  
(300, 320) und ihre jeweilige direkte Verbindung (119) aus  
einer Schicht gebildet sind.

20 15. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
die oberen Elektroden (220, 220') der Stacked-Crystal-  
25 Filter (300, 320), die direkt über ihre unteren Elektroden  
(114, 114') miteinander verbunden sind, als Signaleingang  
oder Signalausgang verwendet werden.

30 16. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s  
das piezoelektrische Bauelement wenigstens einen unteren  
akustischen Spiegel (50) umfasst.

35 17. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 16,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

oberhalb der oberen Elektroden (114, 114') wenigstens ein oberer akustischer Spiegel (48) angeordnet ist.

18. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 17,

5     dadurch gekennzeichnet, dass  
der obere akustische Spiegel (48) aus zumindest einem elektrisch leitfähigen Material gebildet ist.

19. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 18,

10     dadurch gekennzeichnet, dass  
der obere akustische Spiegel (48) mit den oberen Elektroden (220, 220') direkt leitend verbunden ist.

20. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
15     bis 19,

20     dadurch gekennzeichnet, dass  
das piezoelektrische Bauelement zumindest ein Kontaktloch (70) umfasst, das sich durch die obere Elektrode (220, 220') und die obere piezoelektrische Schicht (200, 200') erstreckt und über das die mittlere Elektrode (118, 118') mittels zumindest eines elektrisch leitfähigen Materials mit einem vorgegebenen Potential verbunden werden kann.

21. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 20,

25     dadurch gekennzeichnet, dass  
zur Verbindung der mittleren Elektrode (118, 118') mit dem vorbestimmten Potential das gleiche elektrisch leitfähige Material verwendet wird wie zur Ausbildung des oberen akustischen Spiegels (48).

30

22. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10  
bis 21,

35     dadurch gekennzeichnet, dass  
das piezoelektrische Bauelement zumindest einen zweistufigen single-ended Schmalbandfilter (350) umfasst, umfassend einen ersten Stacked-Crystal-Filter (300), dessen obere Elektrode (220) als Signaleingang geschaltet



ist, einen zweiten Stacked-Crystal-Filter (320), dessen obere Elektrode (220') als Signalausgang geschaltet ist, wobei die mittleren Elektroden (118, 118') geerdet sind.

- 5 23. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das piezoelektrische Bauelement wenigstens zwei in Serie geschaltete zweistufige single-ended Schmalbandfilter (350, 352) umfasst.

10

24. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10 bis 21,

dadurch gekennzeichnet, dass das piezoelektrische Bauelement zumindest einen Impedanz-  
15 Transformator (360) umfasst, umfassend einen ersten Stacked-Crystal-Filter (300), dessen obere Elektrode (220) als Signaleingang geschaltet ist, einen zweiten Stacked-Crystal-Filter (320), dessen obere Elektrode (220') als Signalausgang geschaltet ist, wobei die mittleren  
20 Elektroden (118, 118') der Stacked-Crystal-Filter (300, 320) geerdet sind, und wobei die Impedanz des ersten Stacked-Crystal-Filters (300) kleiner ist als die Impedanz des zweiten Stacked-Crystal-Filters (320).

- 25 25. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass in dem ersten und zweiten Stacked-Crystal-Filter (300, 320) die erste piezoelektrische Schicht (116, 116') dünner ist als die zweite piezoelektrische (200, 200') Schicht.

30

26. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass die unteren (114, 114') und die oberen Elektroden (116, 116') unterschiedliche Flächenform und/oder Flächeninhalt  
35 aufweisen.

27. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10 bis 21,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das piezoelektrische Bauelement zumindest einen

5 Leistungsteiler (370) umfasst, umfassend wenigstens einen ersten, zweiten und dritten Stacked-Crystal-Filter (300, 320, 330), wobei die obere Elektrode (220) des ersten Stacked-Crystal-Filters (330) als Signaleingang und die oberen Elektroden (220', 220'') des zweiten und dritten

10 Stacked-Crystal-Filters (320, 330) jeweils als Signalausgang geschaltet sind, die unteren Elektroden (114, 114', 114'') und die mittleren Elektroden (118, 118', 118'') des ersten, zweiten und dritten Stacked-Crystal-Filters (300, 320, 330) direkt miteinander

15 verbunden sind und die mittleren Elektroden (118, 118', 118'') geerdet sind.

28. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10 bis 21,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das piezoelektrische Bauelement zumindest einen balanced-Filter (390) umfasst, umfassend vier Stacked-Crystal-Filter (300, 300', 320, 320'), deren mittlere Elektroden (118) direkt miteinander verbunden sind und die unteren Elektroden (114) von je zwei Stacked-Crystal-Filtern (300, 320; 300', 320') direkt miteinander verbunden sind,

wodurch zwei Stacked-Crystal-Filter-Paare (370, 380) gebildet werden und wobei in jedem Stacked-Crystal-Filter-Paar (370, 380) eine obere Elektrode (220) als

30 Signaleingang und eine obere Elektrode (220') als Signalausgang geschaltet ist.

29. Piezoelektrisches Bauelement nach Anspruch 28,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die mittleren Elektroden (118) geerdet sind.

30. Piezoelektrisches Bauelement nach einem der Ansprüche 10 bis 29,

5     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,   d a s s  
in zumindest einem der Stacked-Crystal-Filter (300, 320)  
des Bauelements die erste Elektrode (114), die erste  
piezoelektrische Schicht (116), die mittlere Elektrode  
10    (118), die zweite piezoelektrische Schicht (200) und die  
obere Elektrode (220) einen Schichtstapel (60) bilden,  
dessen Schichtdicke etwa der halben Wellenlänge der  
mechanischen Schwingung des Stacked-Crystal-Filter (300,  
320) entspricht.

## Zusammenfassung

Die Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Herstellung  
5 eines piezoelektrischen Bauelements, das zumindest zwei  
Stacked-Crystal-Filter umfasst. Durch das Abscheiden des  
Schichtstapels über der unteren Elektrode und der  
anschließenden Strukturierung der oberen elektrisch  
leitfähigen Schicht und ggf. zweiten piezoelektrischen  
10 Schicht kann auf einfache Weise, mit einem Minimum an  
Prozessschritten, ein piezoelektrisches Bauelement erzeugt  
werden, das zwei Stacked-Crystal-Filter umfasst, die über  
ihre untere und mittleren Elektrode direkt miteinander  
verbunden sind. Das erfindungsgemäße piezoelektrische  
15 Bauelement besitzt darüber hinaus den Vorteil, dass  
Anwendungen, bei denen es auf eine hohe Sperrbanddämpfung  
ankommt, mit einer relativ geringen Anzahl an Filterstufen  
realisiert werden können. Dabei kann durch den Einsatz von  
zumindest zwei Stacked-Crystal-Filtern eine ausgezeichnete  
20 Fernabselektion auch für „single-ended Signale“ erzielt  
werden.

Fig. 1E

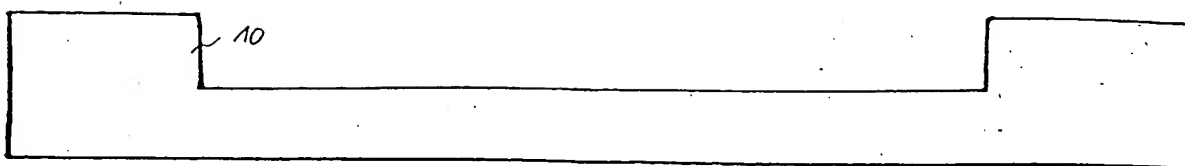


FIG. 1A

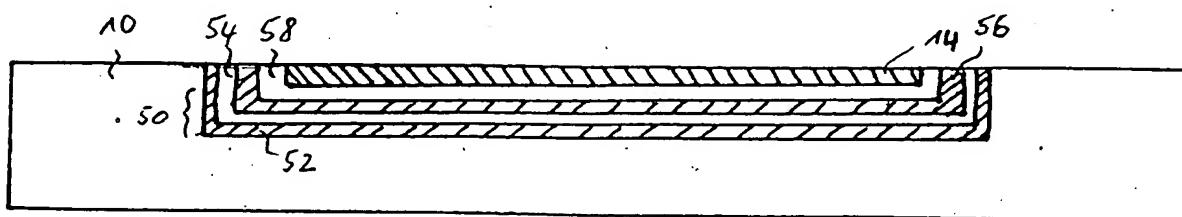


FIG. 1B

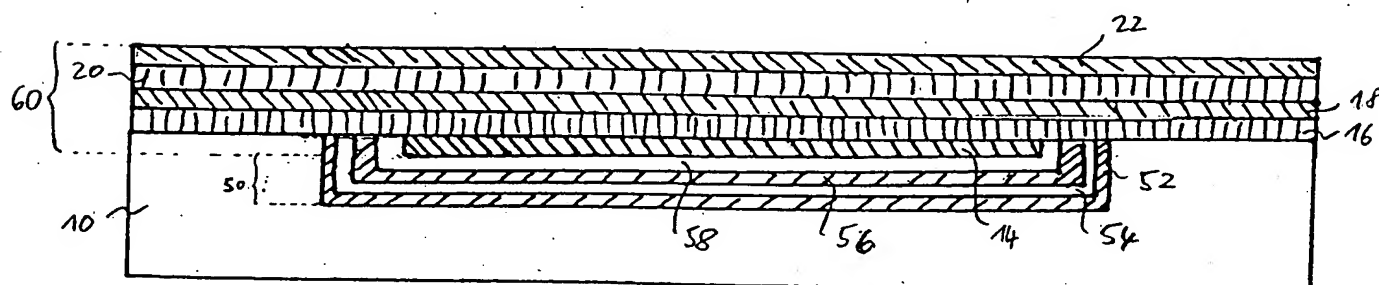


FIG. 1C

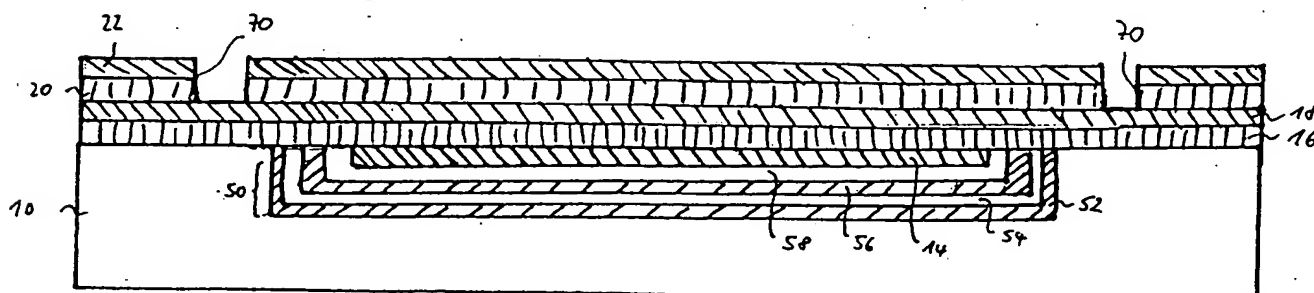


FIG. 1D

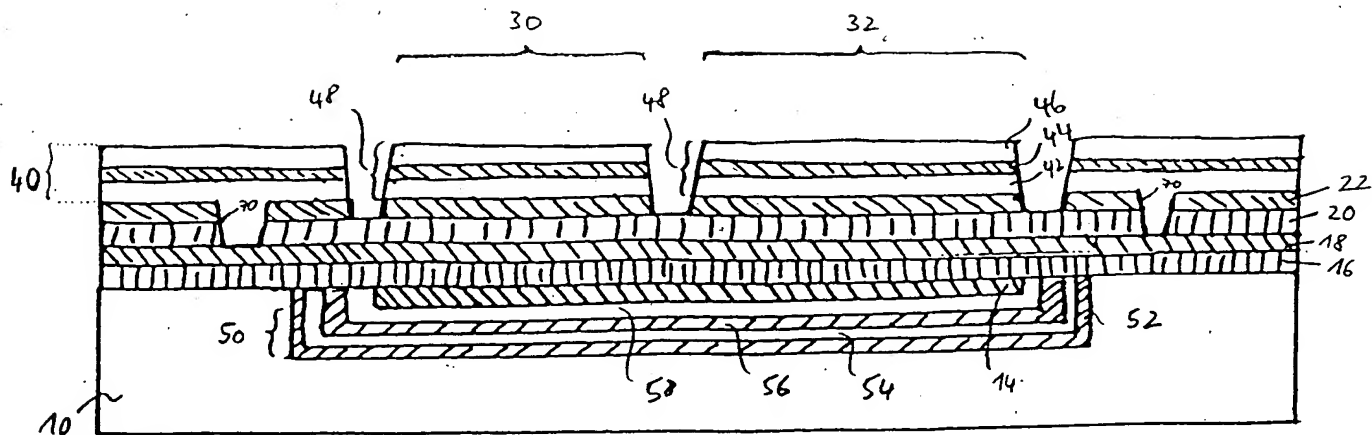


FIG. 1E

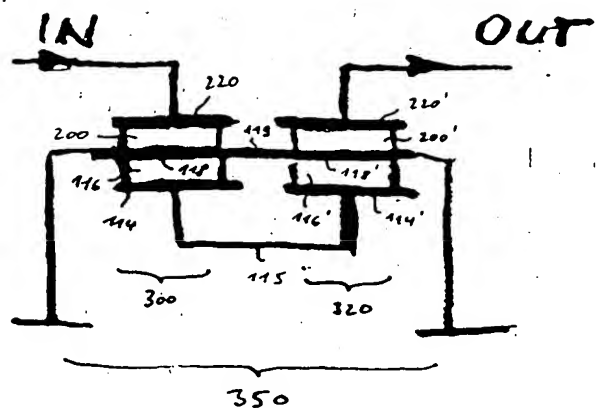


FIG. 2

FIG. 3

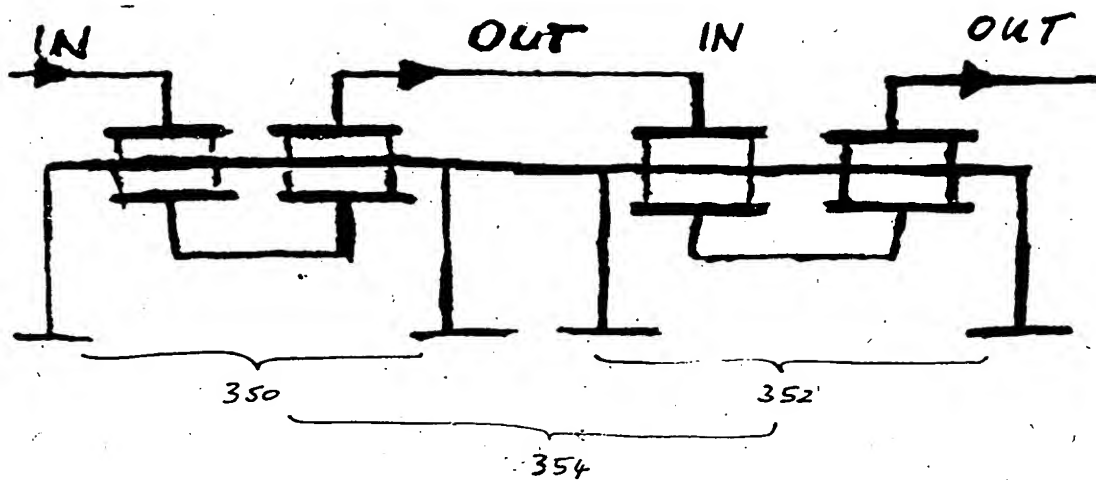
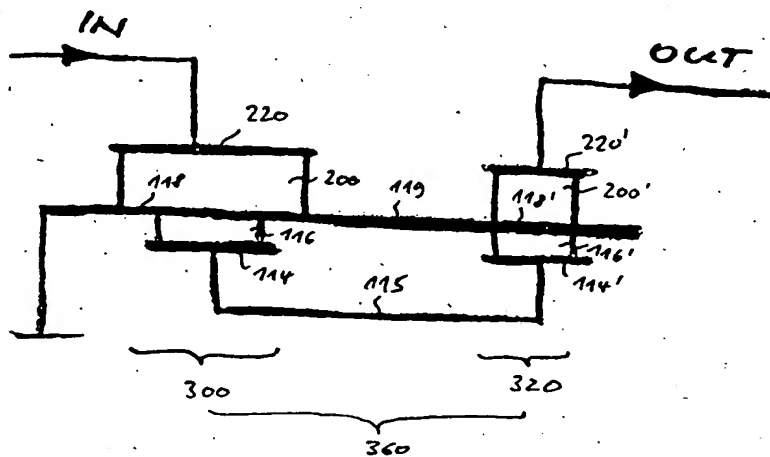


FIG. 4



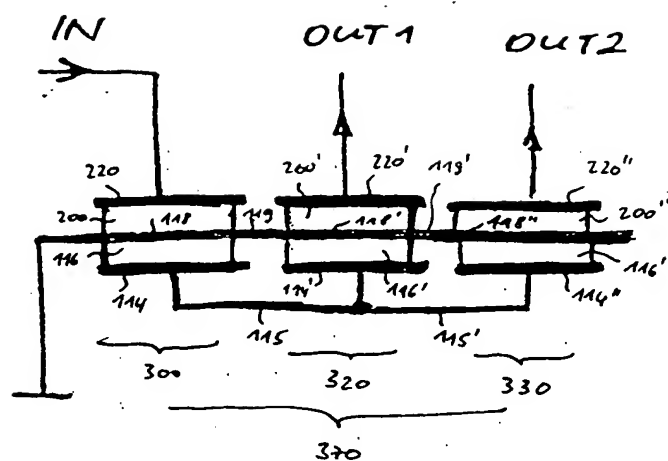


FIG. 5

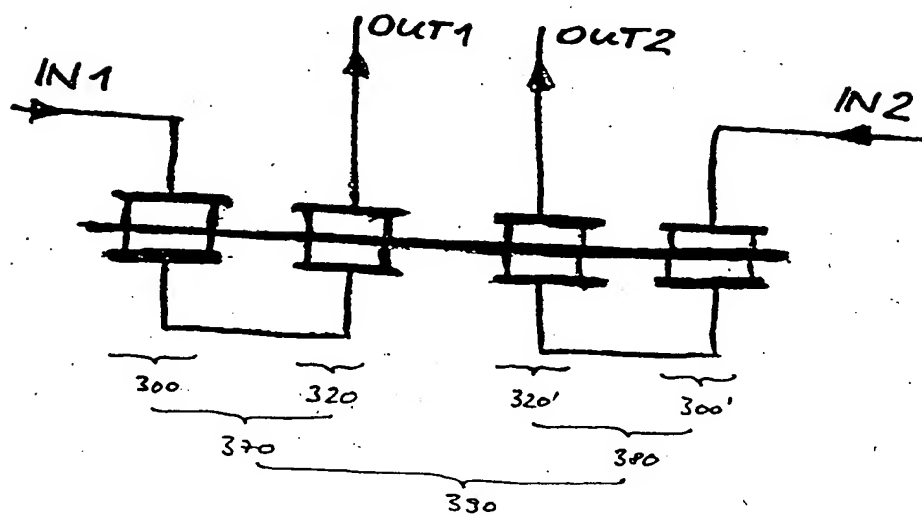


FIG. 6

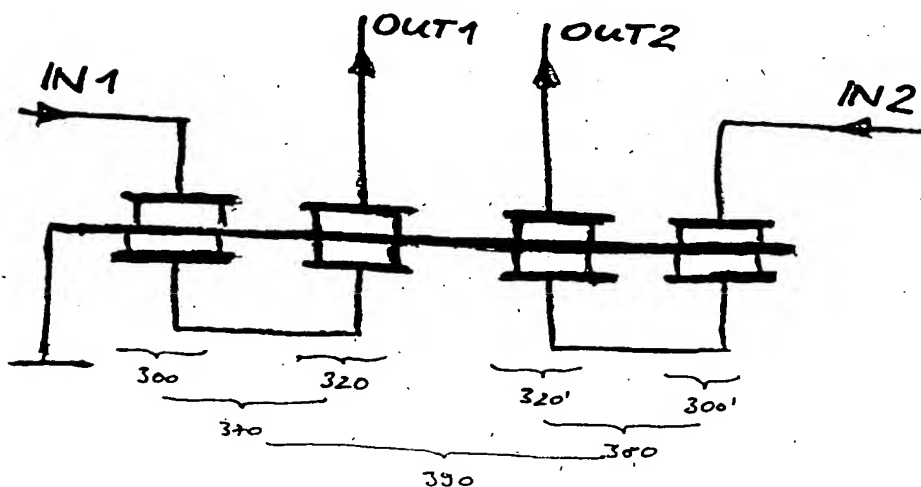


FIG. 7